

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 196 49 265 A 1

⑯ Int. Cl. 6:
G 01 R 33/09
G 01 R 17/00
G 01 B 7/30

DE 196 49 265 A 1

⑯ Aktenzeichen: 196 49 265.3
⑯ Anmeldetag: 28. 11. 96
⑯ Offenlegungstag: 4. 6. 98

⑯ Anmelder:
Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V.,
07743 Jena, DE

⑯ Vertreter:
R.-G. Pfeiffer und Kollegen, 07743 Jena

⑯ Erfinder:
Mattheis, Roland, Dipl.-Phys. Dr., 07743 Jena, DE;
Straßer, Torsten, Dipl.-Phys., 07751 Bucha, DE

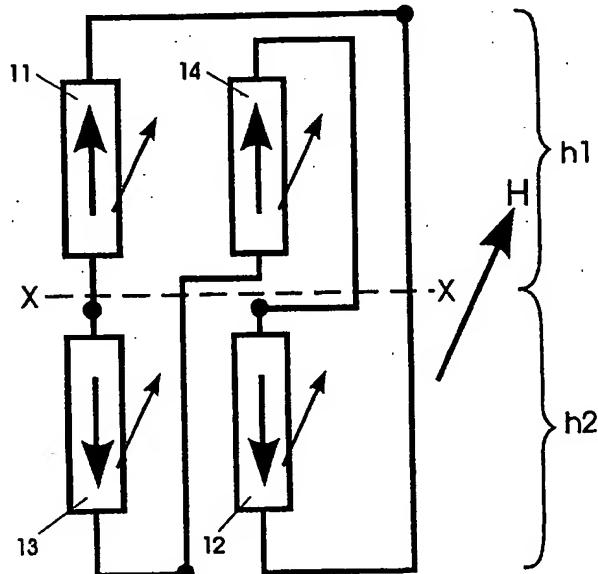
⑯ Entgegenhaltungen:
DE 195 32 674 C1
DE 195 20 206 A1
DE 43 17 512 A1
DE 43 01 704 A1
DD 2 56 628 A3
HELMOLT, von, R., u.a.: Giant Negative
Magnetoresistance in Perovskite-like La 2/3
Ba 1/3 MnO_x Ferromagnetic Films, In: Physical
Review Letters, Vol. 71, Nr. 14, 1993, S. 2331-233
3;
PARKIN, S.S.P., u.a.: Oscillatory Magnetic
Exchange Coupling through Thin Copper Layers,
In:
Physical Review Letters, Vol. 66, Nr. 16, 1991,
S. 2152-2155;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ GMR-Sensor mit neuartiger Wheatstonebrücke

⑯ Die Erfindung betrifft einen GMR-Sensor mit neuartiger Wheatstonebrücke unter Verwendung von Giant Magnetoresistivmaterialien (GMR), der zur Messung kleiner Felder oder Drehwinkel Verwendung findet. Die Aufgabe, eine magnetoresistive Wheatstonebrückenschaltung anzugeben, die eine Verwendung von Spin-Valve-Schichtsystemen für die einzelnen Brückenelemente ermöglicht, wird dadurch gelöst, daß für die einzelnen Wheatstonebrückenelemente (11, 12, 13, 14) Dünnschichtstreifenleiter eingesetzt sind, wobei die je eine Halbbrücke bildenden Brückenelemente (11 und 12; 13 und 14) in solcher Weise miteinander elektrisch verschaltet und angeordnet sind, daß das erste Brückenelement (11) der ersten Halbbrücke (11, 12) mit dem zweiten Brückenelement (14) der zweiten Halbbrücke (13, 14) benachbart zu einer Achse (X-X) dem ersten Brückenelement (13) der zweiten Halbbrücke (13, 14) und dem zweiten Brückenelement (12) der ersten Halbbrücke (11, 12) gegenübersteht und den auf je einer Halbseite (h1; h2) zusammengefaßten Brückenelementen (11 und 14; 12 und 13) jeweils eine parallele Magnetisierung aufgeprägt ist, wobei die Magnetisierung der Brückenelemente (11 und 14; 12 und 13) sich gegenüberstehender Halbseiten (h1, h2) zueinander antiparallel festgelegt ist.



DE 196 49 265 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen GMR-Sensor mit neuartiger Wheatstonebrücke unter Verwendung von Giant Magnetowiderstandsmaterialien (GMR), die bezüglich ihres magnetoresistiven Effektes isotrope Eigenschaften und einen sehr großen magnetoresistiven Effekt aufweisen. Solche Sensoren werden bevorzugt zur Messung kleiner magnetischer Felder verwendet und als berührungslos messende Winkel-detektoren eingesetzt.

Zur betrags- und richtungsmäßigen Messung von Magnetfeldern werden nach dem Stand der Technik magnetoresistive Streifenleiter eingesetzt, die anisotrop bzgl. ihrer magnetoresistiven Eigenschaften und i.a. als Wheatstonebrücke verschaltet sind (vgl. z. B. DD 256 628, DE 43 17 512). Die dabei zum Einsatz gelangenden magnetoresistiven Streifenleiter weisen bzgl. eines äußeren Magnetfeldes anisotrope Widerstandsänderungen auf, was für den Verwendungszweck z. B. als Drehwinkelgeber eine wünschenswerte Eigenschaft ist. Solche Streifenleiter, z. B. auf der Basis von Permalloy, zeigen jedoch nur maximale Widerstandsänderungen von ca. 2-3%, weswegen ein relativ hoher elektronischer und herstellungsmäßiger Aufwand betrieben werden muß.

Des weiteren sind auch Materialien bzw. Bauformen mit einem sogenannten Giant Magnetowiderstand bekannt geworden (vgl. z. B. S.P.P. Parkin et al., Oscillatory magnetic exchange coupling through thin copper layers, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 66, S. 2152ff., 1991 und R. von Helmolt et al., Giant Negative Magnetoresistance in Pervoskitelike $\text{La}_{2/3}\text{Ba}_{1/3}\text{MnO}_x$ Ferromagnetic Films, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 71, No. 14, S. 2331ff., 1993). Diese Klasse von Materialien bzw. Bauformen weisen magnetoresistive Widerstandseffekte auf, die die üblicherweise verwendeter magnetoresistiver Materialien um eine bis mehrere Größenordnungen übersteigen. Der Nachteil dieser Materialien für den angestrebten Verwendungszweck besteht jedoch darin, daß sie keinen anisotropen Widerstandseffekt aufweisen.

Magnetoresistive Sensoren werden in bekannter Weise in Form von Wheatstonebrücken ausgebildet, um Umwelteinflüsse wie Temperaturänderungen auf das Meßsignal zu minimieren oder total zu unterdrücken. Der Aufbau derartiger Wheatstonebrücken setzt voraus, daß sich benachbarte Brückenzweige einer Halbbrücke bei Einwirkung eines äußeren magnetischen Feldes bzgl. der magnetoresistiven Widerstandsänderung entgegengesetzt verhalten. Dies ist bei Verwendung von anisotropen magnetischen Materialien, wie bei dem in klassischen MR-Sensoren verwendeten Permalloy ($\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$) vergleichsweise einfach realisierbar, indem durch zueinander senkrechte Ausrichtung von zwei MR-Streifenleitern innerhalb einer Halbbrücke oder durch die Verwendung von Barberpolen die Richtung des in dem magnetoresistiven Brückenzweigen fließenden Stromes unterschiedlich eingeprägt ist. Im Falle von isotropen Widerstandssystemen, wie z. B. Systemen mit Giant Magnetowiderstandseffekt, führen die bisher verwendeten Lösungsansätze jedoch zu keiner befriedigenden Lösung. Ein möglicher Lösungsansatz wurde für Drehwinkelsensoren für antiferromagnetisch gekoppelte Viellagenschichten oder Schichtsysteme mit einem kolossalen Magnetowiderstandseffekt bspw. in DE 195 32 674 C1 aufgezeigt. Dort wird durch eine geeignet geformte Geometrie von weichmagnetischen, als magnetische Sammler wirksamen Antennengeometrien eine Änderung der auf benachbarte Brückenzweige wirkenden Magnetfelder erreicht. Dieser Lösungsansatz bewirkt zwar den gewünschten Effekt, jedoch ist er mit zusätzlichen Strukturen und diffizilen Strukturierungsprozessen verbunden und nur für eine Drehwinkelmessung geeignet.

Weiterhin sind Schichtsysteme mit einem sogenannten Spin-Valve-Effekt bekannt, die vorzugsweise zur Detektion kleiner Felder oder auch zur Winkeldetektion verwendet werden (vgl. z. B. DE 43 01 704 A1) Diesen Schichtsystemen ist gemeinsam, daß sie aus magnetischen Einzelschichten bestehen, bei denen idealerweise eine Sensorschicht magnetisch leicht drehbar und eine Biasschicht magnetisch unbeweglich ist. Diese Schichten können bislang nur als einzelne magnetoresistive Streifensensoren betrieben werden, 10 womit zwar vergleichsweise hohe Signale erhaltbar sind, jedoch auch alle weiteren Störeinflüsse, wie Temperaturschwankungen, das Meßsignal beeinflussen.

Vorliegender Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine magnetoresistive Wheatstonebrückenschaltung anzugeben, 15 die eine Verwendung von Spin-Valve-Schichtsystemen für die einzelnen Brückenelemente ermöglicht.

Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des ersten Patentanspruchs gelöst. Das Wesen der Erfindung besteht in einer neuartigen Anordnung der einzelnen Brückenelemente innerhalb einer Wheatstonebrücke zueinander, 20 wobei die gesamte, wenigstens eine Wheatstonebrücke umfassende Anordnung einen einheitlichen magnetischen Formierungsprozeß zwecks Aufprägung definierter Magnetisierungsrichtungen innerhalb der Biasschichten der einzelnen Brückenelemente erfahren hat.

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels und schematischer Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1a den Aufbau eines Spin-Valve-Schichtsystems mit 30 einer hartmagnetischen Biasschicht, gebildet durch eine antiferromagnetische Schicht sowie eine ferromagnetische Schicht, und einer weichmagnetischen Sensorschicht,

Fig. 1b den Aufbau eines Spin-Valve-Schichtsystems mit 35 einem künstlichen Antiferromagneten als hartmagnetischer Biasschicht und einer weichmagnetischen Sensorschicht,

Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau einer Wheatstone-Vollbrücke mit vier Brückenzweigen, die je aus einem Spin-Valve-Schichtsystem nach Fig. 1a oder Fig. 1b gebildet sind, wobei die Pfeile in den Brückenelementen die Magnetisierung der jeweiligen Biasschicht anzeigen,

Fig. 3 zeigt eine mögliche Variante zum Einprägen der gewünschten Magnetisierungsrichtungen in den Biasschichten der einzelnen Brückenelemente,

Fig. 4 eine mögliche Feldverteilung zur Formierung der unterschiedlichen Magnetisierungsrichtungen der Biasschichten, aufgeprägt durch eine Anordnung nach Fig. 3 und

Fig. 5 eine Anordnung von zwei zueinander senkrecht ausgerichteten Wheatstonebrücken nach Fig. 2.

Fig. 1a zeigt ein Siliziumsubstrat 1, welches bspw. durch thermische Oxidation mit einer SiO_2 -Schicht 2 versehen ist. Auf dieses Substrat ist eine antiferromagnetische Schicht 3 aufgebracht, die bspw. aus FeMn oder CoO oder NiO oder einer Mischung aus NiO und CoO bestehen kann. Darauf

55 befindet sich eine weichmagnetische Schicht 4, die durch die antiferromagnetische Schicht 3 gepinnt wird. Die Kombination dieses Doppelschichtsystems 3 und 4 wirkt wie eine hartmagnetische Schicht. Ebenso kann diese hartmagnetische Schichtpaket durch einen künstlichen Antiferromagneten 7 gebildet sein, wie in Fig. 1b schematisch ange-60 deutet, welcher die Funktionen der Schichten 3 und 4 in sich vereinigt. Diesem Schichtpaket folgt weiterhin eine nicht-magnetische, elektrisch leitfähige Zwischenschicht 5 mit ei-65 ner Dicke von 2 bis 5 nm, welche z. B. aus Kupfer besteht.

Auf der Schicht 5 ist schließlich die eigentliche Sensorschicht 6, bestehend aus einem weichmagnetischen Material, wie z. B. $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$, aufgebracht. Aus diesem beschriebenen, ganzflächig auf das Substrat aufgebrachten Schicht-

paket sind in einem anschließenden Strukturierungsprozeß, der nicht Gegenstand der Erfindung ist, einzelne Brückenelemente für eine danach auszubildende Wheatstonebrücke in geeigneter Weise herausstrukturiert, so daß die Fig. 1a und 1b als seitlicher Schnitt durch ein einzelnes Brückenelement angesehen werden können.

Äußere, zu registrierende magnetische Felder, die in der Schichtebene liegen, sollen die Richtung der Magnetisierung der Sensorschicht 6 leicht ändern können, die Richtung der Magnetisierung der an die nichtmagnetische leitfähige Schicht 5 angrenzenden Schicht 4; 7 jedoch unverändert lassen. Der elektrische Widerstand ist dann bestimmt durch den Winkel, den die Richtung der Magnetisierung der Sensorschicht 6 mit der Richtung der Magnetisierung der an die nichtmagnetische leitfähige Schicht angrenzenden Schicht 4; 7 bildet.

Fig. 2 zeigt eine prinzipielle Anordnung der in Fig. 1a oder 1b dargestellten Widerstandselemente und deren Ver- schaltung zu einer Wheatstonevollbrücke 10. Dabei zeigen die innerhalb der Brückenelemente dargestellten Pfeile die Richtung der Magnetisierung der Biasschicht 4; 7 an, wie sie gemäß der Erfindung den zu einer Wheatstonevollbrücke gehörigen einzelnen Brückenelementen 11, 12, 13, 14 auf- geprägt ist. Die dünner ausgeführten Pfeile deuten die Rich- tung der einem äußeren Feld H folgenden Magnetisierung in der Sensorschicht 6 an. Die einzelnen Brückenelemente 10, 11, 12, 14 sind als Streifenleiter ausgeführt, denen im Rah- men der Erfindung beliebige Strukturen, bspw. mäandrierte Strukturen, gegeben sein können. Wesentlich ist lediglich die magnetische Ausrichtung der Biasschichten 4; 7 inner- halb der Streifenleiter. Streifenleiter, denen eine parallele Magnetisierung gegeben ist, sollen bevorzugt räumlich eng zueinander benachbart angeordnet sein. Fig. 2 zeigt dabei die grundsätzliche Anordnung der einzelnen Brückenele- mente innerhalb einer Wheatstonebrücke 10, bei der für die einzelnen Wheatstonebrückenelemente 11, 12, 13, 14 Dünnschichtstreifenleiter bestehend aus einem Spin-Valve- Schichtsystem eingesetzt sind, wobei die je eine Halbbrücke bildenden Brückenelemente, im Beispiel sind dies die Brückenelemente 11 und 12, 13 und 14, in solcher Weise mitein- ander elektrisch verschaltet und angeordnet sind, daß das erste Brückenelement 11 der ersten Halbbrücke 11, 12 mit dem zweiten Brückenelement 14 der zweiten Halbbrücke 13, 14 benachbart zu einer Achse X-X dem ersten Brückenelement 13 der zweiten Halbbrücke 13, 14 und dem zweiten Brückenelement 12 der ersten Halbbrücke 11, 12 gegen- übersteht und den auf je einer Halbseite h1, h2 zusammen- gefaßten Brückenelementen [11 und 14 auf der Halbseite h1, 12 und 13 auf der zweiten Halbseite h2] jeweils eine par- allele Magnetisierung aufgeprägt ist, wie es durch innerhalb der Brückenelemente angebrachte dicke Pfeile dargestellt ist, wobei die Magnetisierung der Brückenelemente 11 und 14, 12 und 13 sich gegenüberstehender Halbseiten h1, h2 zueinander antiparallel festgelegt ist. Ein äußeres mag- netisches Feld H, dessen Richtung durch einen dicken Pfeil neben der Wheatstonebrücke 10 angedeutet ist, bewirkt eine einheitliche Verdrehung der Magnetisierung innerhalb der Sensorschicht 6 der einzelnen Brückenelemente 11, 12, 13, 14, wie es dünne, den Brückenelementen zugeordnete Pfeile andeuten. Die Spannungsversorgung der Wheatstonebrücke 10 mit einer Spannung U erfolgt zwischen den Kontaktstel- len 121 und 122, der Brückenabgriff zwischen den Kontakt- stellen 111 und 112.

Um die nach Fig. 2 angedeuteten antiparallelen Magneti- sierungen der einzelnen Brückenelemente zu erzeugen, be- darf es für relativ kleine Flächen, die von einer Wheatstone- brücke eingenommen werden, welche in der Größenord- nung von i.a. 1-4 mm² liegen, lokaler hoher und in ihrer

Richtung antiparalleler Magnetfelder. Dazu wird zumindest eine nach Fig. 2 ausgebildete Wheatstonebrücke 10, zur Formierung der Magnetisierung innerhalb der Bias- schicht(en) in das Feld zweier sich mit gleichnamigen Polen 5 dicht benachbart gegenüberstehender magnetischer oder magnetisierbarer Körper 8 eingebracht, wie es in Fig. 3 schematisch angedeutet ist. Dabei kann beispielsweise eine Magnetenordnung, bestehend aus NdFeB-Hartmagneten Verwendung finden. Besitzen diese Magnete bspw. eine Breite von 8 mm, eine Höhe von 10 mm und eine in Rich- 10 tung senkrecht zur Zeichenebene beliebige Ausdehnung, sind bei einer Beabstandung d von ca. 1 mm, in Bereichen von 2-3 mm Feldstärken von ≥ 1 T erreichbar. Der mit we- nigstens einer Wheatstonebrücke versehene Chip muß dann 15 so aufgebaut sein, daß sich zwischen den magnetfeldemp- findlichen Brückenelementen, mit Bezug auf die Fig. 2 sind dies in Fig. 3 die Brückenelemente 11, 13, hinter denen sich die nicht dargestellten Brückenelemente 14, 12 befinden, ein Abstand von ca. 4 mm verbleibt, in dem bspw. die erforder- 20lichen Leitbahnen zur Verschaltung der Wheatstonebrücke verlegt sein können. Bevorzugt sind natürlich auf dem Chip eine Vielzahl von Wheatstonebrücken hintereinander und in Streifen nebeneinander angeordnet, so daß für jeweils einen Streifen eine Formierung mit einer Anordnung nach Fig. 3 25 vorgenommen werden kann.

In Fig. 4 ist die Feldverteilung dargestellt, wie sie sich nach Fig. 3 ergibt. Die im Spalt d markierten fetten Pfeile geben die Richtung des auf den Chip wirkenden Feldes an, wenn es in der Mitte des Spaltes angeordnet wird. Dazu sind 30 schematisch in Fig. 4 die Komponente des Magnetfeldes parallel zum Spalt am Ort der Mitte des Spaltes angegeben. Setzt man eine Mindestfeldstärke von H_{min} für die Formie- 35 rung an, so muß der Chip im Spalt so angeordnet werden, daß sich die feldempfindlichen Teile der Wheatstonebrücke in den Bereichen 9a und 9b befinden.

Ebenso ist eine Ausbildung der Polschuhe als stabförmige Magneten, wie in Fig. 5 in Kreisform dargestellt, möglich und dann vorteilhaft, wenn eine flächige Verteilung des Formierungsfeldes gewünscht wird, was bspw. zur gleichzei- 40gen Formierung zweier zueinander senkrecht angeordneter Wheatstonebrücken 10 und 10' erforderlich sein kann.

Alle in der Beschreibung, den nachfolgenden Ansprüchen und der Zeichnungen dargestellten Merkmale können so- 45wohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinan- der erfindungswesentlich sein.

Bezugszeichenliste

- 1 Substrat
- 2 SiO₂-Schicht
- 3 antiferromagnetische Schicht
- 4 ferromagnetische Schicht, gepinnt an 3
- 5 leitfähige nichtmagnetische Schicht
- 6 Weichmagnetische Schicht
- 7 Künstlicher Antiferromagnet
- 8 Permanentmagnet
- 10, 10' Wheatstonebrücke
- 11, 12, 13, 14 Brückenelemente der Wheatstonebrücke 10
- 111, 112 Abgriff der Wheatstonebrücke
- 121, 122 Potentialversorgung der Wheatstonebrücke
- 9 a, 9b Lage der magnetfeldempfindlichen Bereiche des Chips
- d Spaltbreite.

Patentansprüche

1. GMR-Sensor mit neuartiger Wheatstonebrücke, da- durch gekennzeichnet, daß für die einzelnen Wheat-

stonebrückenelemente (11, 12, 13, 14) Dünnschichtstreifenleiter, bestehend aus einem Spin-Valve-Schichtsystem, eingesetzt sind, wobei die je eine Halbbrücke bildenden Brückenelemente (11 und 12; 13 und 14) in solcher Weise miteinander elektrisch verschaltet 5 und angeordnet sind, daß das erste Brückenelement (11) der ersten Halbbrücke (11, 12) mit dem zweiten Brückenelement (14) der zweiten Halbbrücke (13, 14) benachbart zu einer Achse (X-X) dem ersten Brückenelement (13) der zweiten Halbbrücke (13, 14) und dem zweiten Brückenelement (12) der ersten Halbbrücke (11, 12) gegenübersteht und den auf je einer Halbseite (h1; h2) zusammengefaßten Brückenelementen (11 und 14; 12 und 13) jeweils eine parallele Magnetisierung 10 aufgeprägt ist, wobei die Magnetisierung der Brückenelemente (11 und 14; 12 und 13) sich gegenüberstehender Halbseiten (h1, h2) zueinander antiparallel festgelegt ist.

2. GMR-Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß genannte Brückenelemente (11, 14) und 20 (13, 12) bezüglich der Achse (X-X) einander spiegel-symmetrisch gegenüberstehend angeordnet sind.

3. GMR-Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Brückenelemente (11, 14 und 12, 13), 25 welche eine parallele Magnetisierung aufweisen, räumlich eng benachbart zueinander angeordnet sind.

4. GMR-Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die den Brückenelementen (11 und 14; 13 und 12) in den Funktionsschichten (4; 7) aufgeprägte 30 Magnetisierung durch zwei sich mit gleichnamigen Polen gegenüberstehende magnetisierte oder magnetisierbare Körper (8), die durch einen schmalen Spalt (d) zueinander beabstandet sind, in den die zu magnetisierenden Brückenelemente (11 bis 14) einbringbar sind, erzeugt ist.

5. GMR-Sensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetisierten oder magnetisierbaren Körper (8) derart dimensioniert sind, daß von dem von ihnen ausgehenden magnetischen Feld wenigstens eine Wheatstonevollbrücke (10), bestehend aus zwei Halbbrücken (11, 14 und 12, 13), erfaßt ist.

6. GMR-Sensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwei zueinander senkrecht stehende Wheatstonebrücken (10, 10') von einem Magnetfeld zweier stabförmiger Magneten (8) 45 erfaßbar sind.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

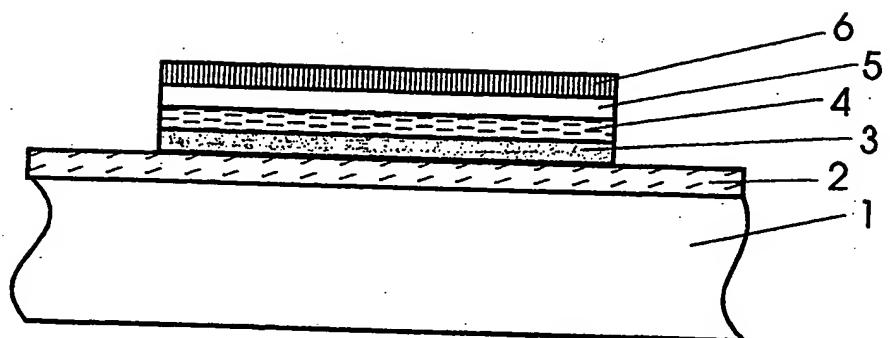


Fig. 1a

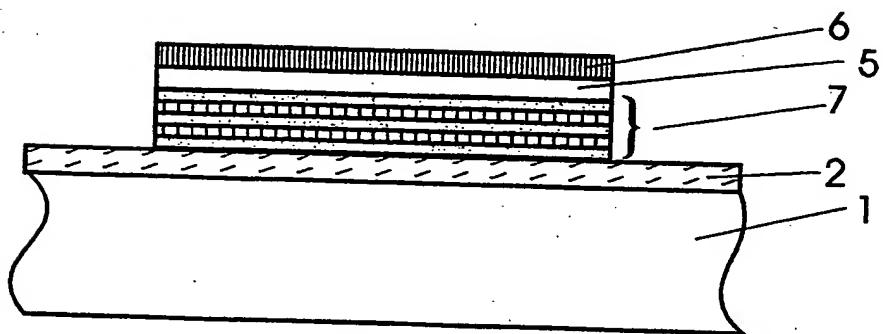


Fig. 1b

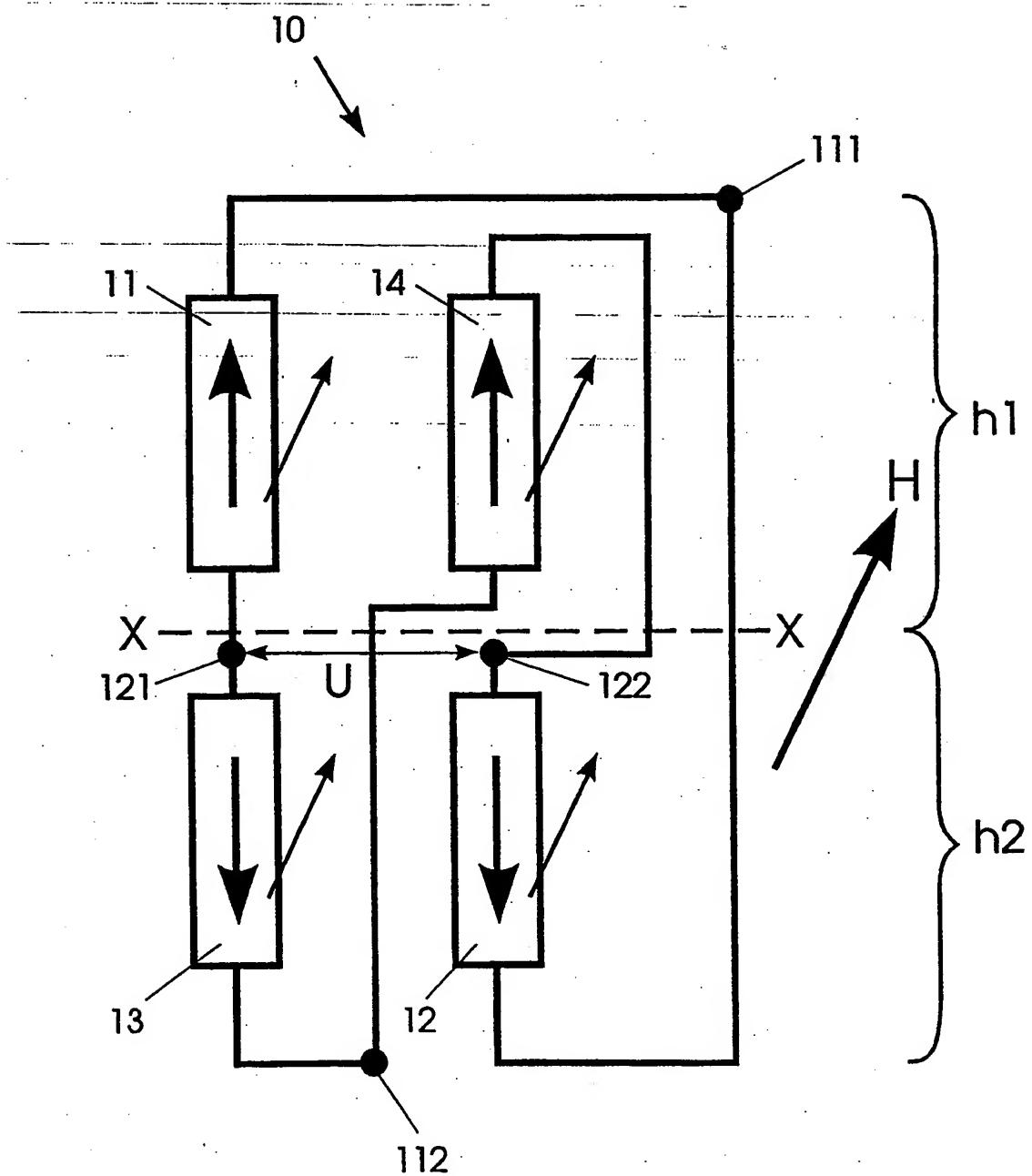


Fig. 2

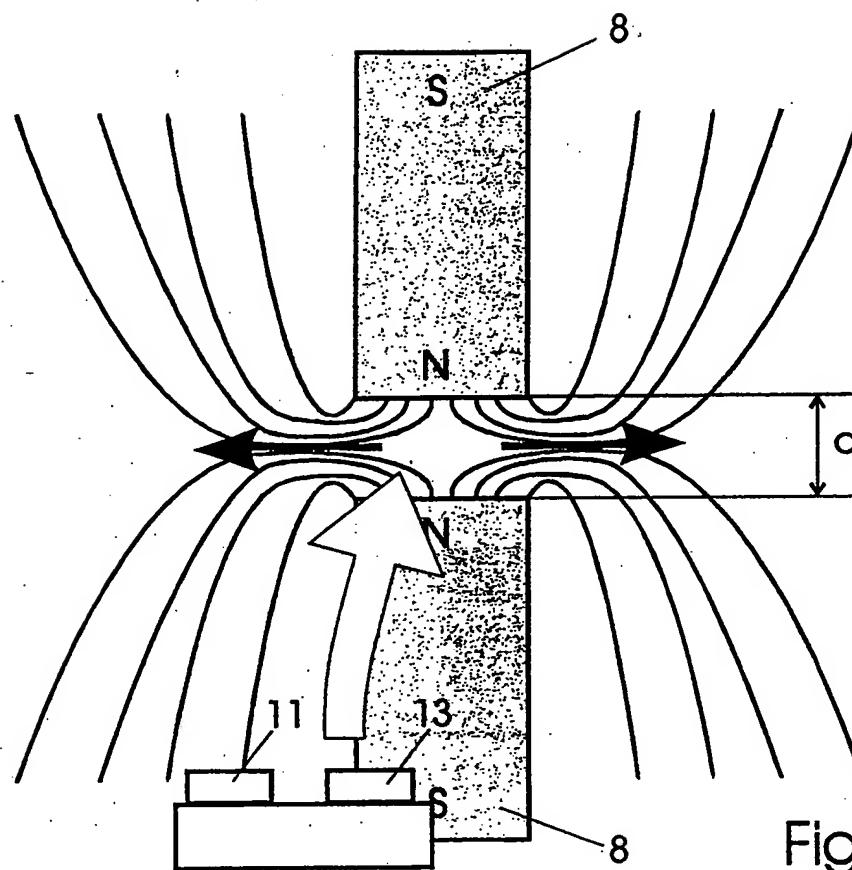


Fig. 3

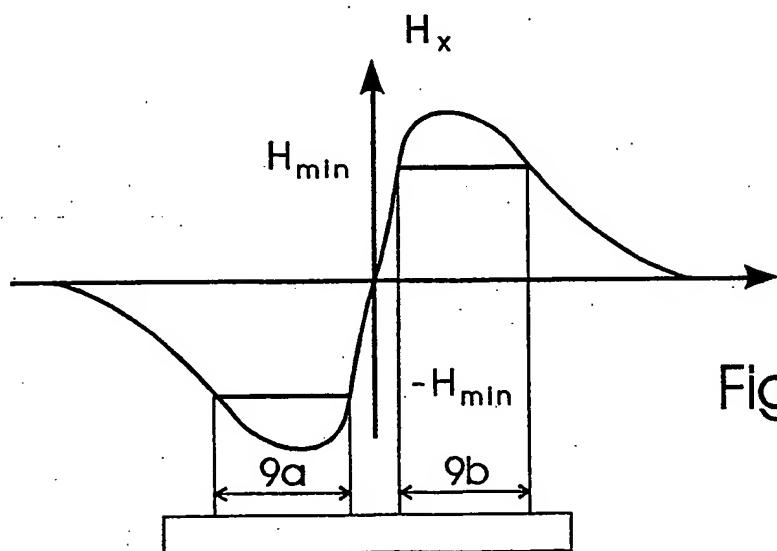


Fig. 4

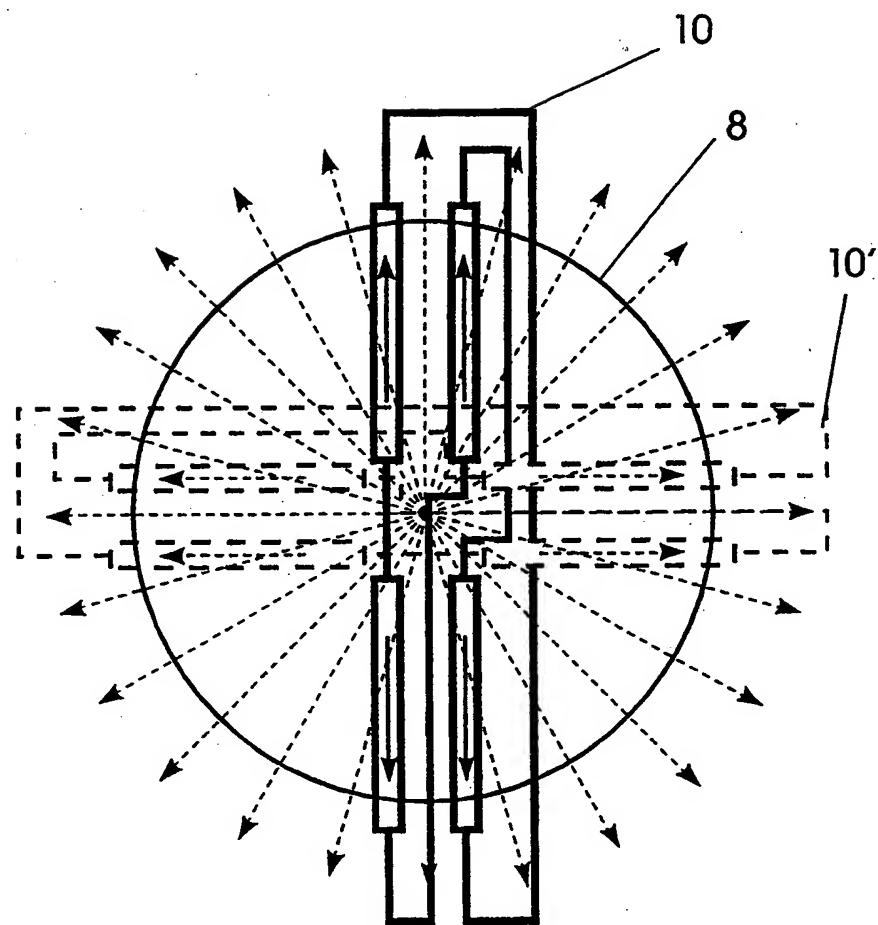
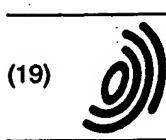


Fig. 5



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 905 523 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
31.03.1999 Patentblatt 1999/13

(21) Anmeldenummer: 98117332.1

(22) Anmeldetag: 12.09.1998

(51) Int. Cl.⁶: G01R 33/09

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 24.09.1997 DE 19742134

(71) Anmelder:
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)

(72) Erfinder: van den Berg, Hugo Dr.
91074 Herzogenaurach (DE)

(54) Sensoreinrichtung zur Richtungserfassung eines äusseren Magnetfeldes mittels eines magnetoresistiven Sensorelementes

(57) Die Sensoreinrichtung weist ein GMR-Mehrschichtensystem mit mindestens einer weichmagnetischen Meßschicht, mindestens einer härteren Biaschicht und mindestens einer dazwischen angeordneten, nicht-magnetischen Zwischenschicht auf. Das Sensorelement (E) soll mindestens zwei Elementteile (E₁,

E₂) enthalten, deren Mehrschichtensysteme auf einem gemeinsamen Substrat (2) ausgebildet sind, deren Magnetisierungsrichtungen (m₁, m₂) einen Winkel ungleich 0° oder ungleich 180° einschließen und deren Meßsignale (ΔR₁, ΔR₂) gemeinsam auszuwerten sind.

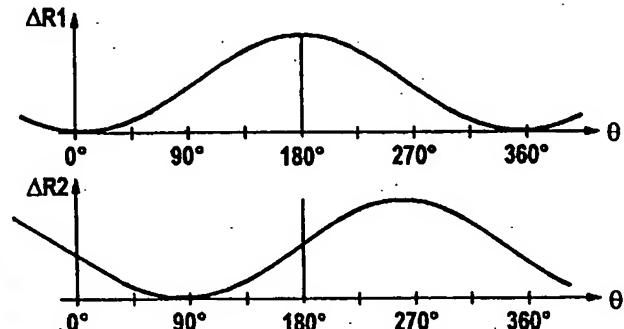
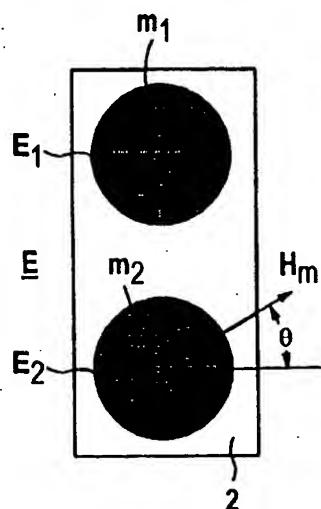


FIG2

EP 0 905 523 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Sensoreinrichtung zur Erfassung der Richtung eines äußeren Magnetfeldes mittels wenigstens eines Sensorelementes, das ein einen sehr großen magnetoresistiven Effekt (GMR) zeigendes Mehrschichtensystem aufweist, welches

- mindestens eine weichmagnetische Meßschicht,
- mindestens eine vergleichsweise härtere Biaschicht mit vorgegebener Magnetisierungsrichtung sowie
- mindestens eine dazwischen angeordnete, nichtmagnetische Zwischenschicht

enthält. Eine entsprechende Sensoreinrichtung ist der WO 94/17426 zu entnehmen.

[0002] In Schichten aus ferromagnetischen Übergangsmetallen wie Ni, Fe oder Co und deren Legierungen kann eine Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Größe und der Richtung eines das Material durchdringenden Magnetfeldes gegeben sein. Den bei solchen Schichten auftretenden Effekt nennt man „anisotropen Magnetowiderstand (AMR)“ oder „anisotropen magnetoresistiven Effekt“. Er beruht physikalisch auf den unterschiedlichen Streuquerschnitten von Elektronen mit verschiedenem Spin und der Spinpolarität des D-Bandes. Die Elektronen werden als Majoritäts- bzw. Minoritätselektronen bezeichnet. Für entsprechende magnetoresistive Sensoren wird im allgemeinen eine dünne Schicht aus einem solchen magnetoresistiven Material mit einer Magnetisierung in der Schichtebene vorgesehen. Die Widerstandsänderung bei Drehung der Magnetisierung bezüglich der Richtung eines über den Sensor geleiteten Stromes kann dann einige Prozent des normalen isotropen (= ohm'schen) Widerstandes betragen.

[0003] Ferner sind magnetoresistive Mehrschichtensysteme bekannt, welche mehrere, zu einem Stapel angeordnete ferromagnetische Schichten enthalten, die jeweils durch metallische, nichtmagnetische Zwischenschichten voneinander getrennt sind und deren Magnetisierungen jeweils vorzugsweise in der Schichtebene liegen. Die Dicken der einzelnen Schichten sind dabei deutlich geringer als die mittlere freie Weglänge der Leitungselektronen gewählt. In derartigen Mehrschichtensystemen kann nun zusätzlich zu dem erwähnten anisotropen magnetoresistiven Effekt AMR ein sogenannter „giant-magnetoresistiver Effekt“ oder „Giant-Magnetowiderstand (GMR)“ auftreten (vgl. z.B. EP 0 483 373 A). Ein solcher GMR-Effekt beruht auf der unterschiedlich starken Streuung von Majoritäts- und Minoritäts-Leitungselektronen an den Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Schichten und den dazu benachbarten Zwischenschichten sowie auf Streueffekten innerhalb dieser Schichten. Der GMR-Effekt ist dabei ein isotroper Effekt. Er kann erheblich

größer sein als der anisotrope Effekt AMR. Im allgemeinen spricht man von einem GMR-Effekt (bei Raumtemperatur), wenn er Werte annimmt, die deutlich über denen von AMR-Einschichtelementen liegen.

[0004] Bei einem ersten Typ von entsprechenden, einem GMR-Effekt zeigenden Mehrschichtensystemen sind benachbarte magnetische Schichten ohne ein äußeres Magnetfeld aufgrund einer gegenseitigen Kopplung magnetisch antiparallel ausgerichtet. Diese Ausrichtung kann durch ein äußeres Magnetfeld in eine parallele Ausrichtung überführt werden. Demgegenüber weist ein zweiter Typ von GMR-Mehrshichtensystemen eine sogenannte Biasschicht auf, die magnetisch härter ist als eine vorhandene magnetisch möglichst weiche Meßschicht. Die Meßschicht und / oder die Biasschicht können dabei auch jeweils durch mehrere zu einem Paket gestapelte Schichten ersetzt sein. Nachfolgend sei jedoch nur von jeweils einzelnen Schichten ausgegangen.

[0005] Die Meßschicht und die Biasschicht sind bei einem derartigen Schichtensystem vom zweiten Typ durch eine nicht-magnetische Zwischenschicht gegenseitig magnetisch entkoppelt. Ohne ein äußeres Magnetfeld stehen dann die Magnetisierungen der beiden magnetischen Schichten irgendwie zueinander, beispielsweise antiparallel. Unter dem Einfluß eines äußeren Magnetfeldes H_m (= Meßfeldkomponente in der Schichtebene der Meßschicht) wird dann die Magnetisierung M_m der weichmagnetischen Meßschicht entsprechend der Richtung des Magnetfeldes ausgerichtet, während die Ausrichtung der magnetisch härteren Biasschicht praktisch unverändert bleibt. Dabei bestimmt der Winkel ϕ zwischen den Magnetisierungsrichtungen der beiden Schichten den Widerstand des Mehrschichtensystems: Bei einer parallelen Ausrichtung ist der Widerstand klein und bei einer antiparallelen groß. Dies folgt aus der Tatsache, daß eine eindeutige Beziehung zwischen den Größen M_m und H_m gegeben ist. Im einfachsten Fall gilt dabei

$$M_m \cdot H_m = M_m H_m$$

[0006] (Dabei sind die vektoriellen Größen durch fette Schreibweise und die skalaren Größen durch magere Schreibweisen gekennzeichnet).

[0007] Das Magnetowiderstandssignal ΔR eines derartigen GMR-Mehrshichtensystems ist dann gegeben durch

$$\Delta R = \Delta(1-\cos\phi).$$

[0008] Aus dieser Gleichung ist ersichtlich, daß ΔR für $\phi = \phi_0$ und $\phi = -\phi_0$ die gleichen Werte annimmt. Dies bedeutet aber, daß der Winkel ϕ nur in einem Sektor von 180° eindeutig erfaßt werden kann. Darüber hinaus ist die Winkelempfindlichkeit $d\Delta R/d\theta = \Delta \sin\theta$ für $\theta = 0$ und $\theta = \pi$ sehr gering, wobei θ der Winkel zwischen der Richtung des äußeren Magnetfeldes H_m und der

durch die Magnetisierung der Biasschicht festgelegten Bezugsrichtung ist (vgl. die eingangs genannte WO-Schrift).

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, die Sensoreinrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszustalten, daß mit ihr eine 360° -Winkeldetektion ermöglicht ist und das Problem einer zu niedrigen Empfindlichkeit vermindert ist.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das wenigstens eine Sensorelement mindestens zwei Elementteile enthält, deren Mehrschichtensysteme auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet sind, deren Magnetisierungsrichtungen einen Winkel $\neq 0^\circ$ oder 180° einschließen und deren Meßsignale gemeinsam auszuwerten sind.

[0011] Der Erfindung liegt dabei die Überlegung zugrunde, daß mit den beiden vorzugsweise gleich aufgebauten Sensorelementteilen zwei gemeinsam zu betrachtende bzw. auszuwertende Sensorteilsignale zu gewinnen sind, die eine eindeutige Unterscheidungsmöglichkeit zwischen den Bereichen 0° bis 180° und 180° bis 360° schaffen.

[0012] Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

[0013] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch die

Figur 1 einen Querschnitt durch einen einzelnen Sensorelementteil einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung,

Figur 2 eine Aufsicht auf zwei Sensorelementteile mit komplementären Meßbereichen und deren zugehörende Meßsignalkurven,

Figur 3 eine Aufsicht auf eine besondere Ausführungsform eines Sensorelementteiles, sowie

Figur 4 eine Aufsicht auf eine Leitergeometrie zur Magnetisierung von Sensorelementteilen gemäß Figur 3.

In den Figuren sind sich entsprechende Teile jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0014] Eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung enthält mindestens ein Sensorelement, das wenigstens zwei Sensorelementteile umfaßt, die vorteilhaft auf einem gemeinsamen Substrat in Dünnschichttechnik erstellt sind. Der Aufbau dieser Elementteile ist an sich bekannt (vgl. z.B. EP 0 483 373 A oder die DE-A-Schriften 42 32 244, 42 43 357 oder 42 43 358). Gemäß Figur 1 enthält jeder Elementteil E_j ein auf einem Substrat 2 aufgebrachtes, für ein GMR-Element typisches Mehrschichtensystem S. Dieses Mehrschichtensystem besitzt vorteilhaft als unterste Schicht eine hartmagnetische Schicht 3, eine darauf aufgebrachte, als Koppelschicht wirkende Zwischenschicht 4 sowie eine auf

dieser abgeschiedene ferro- oder ferrimagnetische Schicht 5. Diese Schicht 5 stellt dabei eine Biasschicht mit im Meßbereich zumindest annähernd konstanter Magnetisierungsrichtung in ihrer Schichtebene dar. Die insbesondere antiferromagnetisch gekoppelten Schichten 3 bis 5 bilden ein sogenanntes Biasschichtpaket P. Statt dieses Paketes kann auch ein magnetisch verhältnismäßig hartes Subsystem aus einer ferromagnetischen Schicht und einer unmittelbar anliegenden, antiferromagnetischen Schicht oder nur eine einzelne Biasschicht vorgesehen sein. Gemäß dem angenommenen Ausführungsbeispiel ist das Schichtpaket von einer magnetfeldempfindlichen, magnetisch möglichst weichen Meßschicht 7 über eine nicht-magnetische Zwischenschicht 6 magnetisch wenigstens annähernd entkoppelt. An der Meßschicht sind in der Figur nicht dargestellte Anschlußkontakte zum Führen eines vorgesehenen Stromes über den Elementteil angebracht. Dieser Aufbau des Schichtensystems S kann noch mit einer Schutzschicht überzogen sein. Das zumindest hinsichtlich seiner Richtung zu detektierende (äußere) magnetische Meßfeld H_m ist durch eine gepfeilte Linie angedeutet.

[0015] Der Widerstand eines solchen GMR-Sensorelementteils E_j hängt dann von der relativen Orientierung der Magnetisierung der Meßschicht 7 gegenüber der des Biasschichtpaketes P ab. Die Änderung dieses Widerstandes läßt sich ausnutzen, um die Richtung eines angelegten Magnetfeldes und so z.B. Drehpositionen oder absolute Positionen zu bestimmen (vgl. auch WO 94/17426). Diese Widerstandsänderung legt die Größe ΔR_j des magnetoresistiven Effektes fest. Die Größe ΔR_j ist dabei folgendermaßen definiert:

$$\Delta R_j = [R(\uparrow\downarrow) - R(\uparrow\uparrow)]/R(\uparrow\uparrow).$$

Wegen der Feldrichtungsempfindlichkeit der GMR-Sensorelemente stellt der magnetoresistive Effekt ΔR_j den Unterschied des Widerstandes zwischen der antiparallelen und der parallelen Magnetisierungsrichtung der Meßschicht bezüglich der Biasschicht bzw. eines entsprechenden Biasschichtpaketes dar. In der vorstehend aufgeführten Gleichung ist die gegenseitige Ausrichtung der Magnetisierung der Meßschicht und der Biasschicht durch die Ausrichtung der Pfeile veranschaulicht. Im allgemeinen wird ein magnetoresistiver Effekt als GMR-Effekt bezeichnet, wenn die Größe ΔR_j mindestens 2 % (bei Raumtemperatur) beträgt.

[0016] Vorteilhaft kann der schichtförmige Aufbau des Sensorelementteils E_j mit großem magnetoresistiven Effekt auch als sogenanntes Multischichtensystem ausgeführt sein. Ein solches System zeichnet sich dadurch aus, daß es neben dem vorstehend erläuterten Schichtensystem noch weitere Schichten oder Schichtpakete enthält und gegebenenfalls eine Folge von periodisch wiederkehrenden Schichten besitzt (vgl. z.B. DE 42 43 358 A).

[0017] In Figur 2 sind zwei Sensorelementteile E_1 und

E_2 mit jeweils kreisförmigem Querschnitt angedeutet. Gemeinsam bilden diese Sensorelementteile ein Sensorelement E einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung. Eine solche Sensoreinrichtung kann dabei mehrere derartige Elemente aufweisen, die beispielsweise zu einer Brücke verschaltet sein können. Die Magnetisierungen der Biasschichten von jedem Elementteil sind einheitlich in der Ebene des gemeinsamen Substrates 2 gerichtet und mit m_1 bzw. m_2 bezeichnet. Diese Magnetisierungsrichtungen legen für jeden Sensorelementteil eine Bezugsrichtung fest, bezüglich derer ein Orientierungswinkel θ der in der Ebene der Meßschicht liegenden Komponente eines gerichteten äußeren Magnetfeldes H_m gemessen wird. Wie aus der Figur hervorgeht, sollen diese Bezugslinien bzw. die entsprechenden Biasschicht-Magnetisierungsrichtungen jedes zu einem Sensorelement gehörenden Elementteils E_1 und E_2 untereinander einen Winkel α einschließen, der erfindungsgemäß ungleich (\neq) 0° oder $\neq 180^\circ$ ist. Allgemein soll für diesen Winkel α zumindest annähernd gelten: $\alpha = (n \cdot 45^\circ)$ mit $n = 1,2,3,5,6,7$, wobei eine Abweichung um $\pm 10^\circ$ mit eingeschlossen sein soll. Als besonders vorteilhaft ist ein dem Ausführungsbeispiel der Figur 2 zugrunde gelegter Winkel α von zumindest annähernd 90° anzusehen. Für diesen Fall werden von dem Orientierungswinkel θ abhängige Widerstandsänderungen ΔR_1 bzw. ΔR_2 erhalten, die aus den zugeordneten Diagrammen hervorgehen. Wie bei einer gemeinsamen Betrachtung dieser Diagramme sich sofort erkennen lässt, kann man vorteilhaft den Winkel θ ohne Auflösungseinbußen eindeutig im kompletten Winkelbereich zwischen 0 und 360° bestimmen. Hierzu dient eine in der Figur nicht dargestellte Meßsignal-Auswertevorrichtung. Diese Auswertevorrichtung wird mit jedem der Sensorelementteile E_1 und E_2 einzeln verbunden.

[0018] Figur 3 zeigt eine an sich bekannte Ausführungsform (vgl. DE 195 07 303 A) für einen Sensorelementteil E_j eines Sensorelementes einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung. Dieser Elementteil setzt sich aus mehreren, in Führungsrichtung eines Stromes I langgestreckten, streifenförmigen Teilstücken e_a zusammen. Diese gemäß Figur 3 fünf Teilstücke haben jeweils eine vorbestimmte Länge L_a und eine vorbestimmte Breite B_a und sind parallel nebeneinander unter Ausbildung eines gegenseitigen Zwischenraums der Weite w angeordnet. Sie sind in Stromführungsrichtung gesehen mäanderförmig mittels Kontaktbrücken k hintereinandergeschaltet. Diese Kontaktbrücken sind dadurch realisiert, daß sowohl die Teilstücke e_a als auch die Kontaktbrücken durch entsprechende Strukturierung, beispielsweise mittels Elektronenlithographie, aus einem gemeinsamen flächenhaften Schichtaufbau herausgearbeitet sind. In der Figur sind ferner unmagnetische Stromanschlußbahnen des Sensorelementteils E_j mit 9 sowie die Magnetisierungs- bzw. Bezugsrichtungen der Biasschichten der einzelnen Teilstücke mit m_a bezeichnet.

[0019] Die Vorteile der in Figur 3 angedeuteten Ausführungsform sind zum einen darin zu sehen, daß ein gewünschtes Impedanzniveau von einigen $k\Omega$ erreichbar ist. Zum anderen läßt sich durch eine vorbestimmte Geometrie und durch eine aufgeprägte Vorzugsrichtung in den Meßschichten ein isotropes Magnetisierungsverhalten einstellen. Ein weiterer Vorteil der gezeigten Geometrie ist, daß die Streifenform zu einer Stabilisierung der Magnetisierung in den Biasschichten beitragen kann.

[0020] Bei den Sensorelementen einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung müssen in den Biasschichten oder Biasschichtpakete der einzelnen Sensorelementteile auf engem Raum Magnetisierungen mit verschiedener Ausrichtung eingeprägt werden. Vorteilhaft können hierzu Magnetisierungseinrichtungen vorgesehen werden, wie sie aus den DE-A-Schriften 195 20 172, 195 20 178 oder 195 20 206 hervorgehen. Bei diesen Magnetisierungseinrichtungen werden zur Einstellung der Magnetisierungen Magnetfelder von Strömen durch Streifenleiter ausgenutzt, die oberhalb der einzelnen Sensorelementteile verlaufend diesen zugeordnet sind. Dabei können die Streifenleiter entweder direkt und isoliert auf dem jeweiligen Mehrschichtensystem aufgebracht und mit diesem verbunden sein oder getrennt von diesem Mehrschichtensystem oberhalb diesem positioniert werden. Eine mögliche Ausführungsform entsprechender Streifenleiter ist in Figur 4 dargestellt. Dabei ist davon ausgingen, daß zwei gleiche, sich parallel erstreckende Sensorelemente E und E' jeweils vier hintereinandergeschaltete Sensorelementteile E_1 bis E_4 bzw. E'_1 bis E'_4 besitzen. Jeder Sensorelementteil ist dabei entsprechend der Ausführungsform nach Figur 3 ausgebildet. Jeweils zwei hintereinandergeschaltete Sensorelementteile weisen senkrecht zueinanderstehende Magnetisierungsrichtungen gemäß Figur 2 auf. In der Figur sind nur Streifenleiteranordnungen 10 bzw. 10' ersichtlich, welche die Mehrschichtensysteme der einzelnen Sensorelementteile E_1 bis E_4 bzw. E'_1 bis E'_4 der Sensorelemente abdecken. Die Streifenleiteranordnungen 10 bzw. 10' weisen dabei im Bereich der einzelnen Sensorelementteile Streifenleiter 10a bzw. 10a' auf, die jeweils oberhalb eines zugeordneten Teilstücks (e_a) eines Sensorelementteils verlaufen. Im Bereich der Sensorelementteile sind die Streifenleiter 10a und 10a' parallelgeschaltet. Der über die Streifenleiteranordnungen zu führende Einstellstrom zur Erzeugung der jeweiligen magnetischen Einstellfelder ist mit I_e bezeichnet.

[0021] Eine derartige Parallelschaltung einzelner, beispielsweise durch Schlitzung einer größeren Fläche gewonnener Streifenleiter kann vorteilhaft auch für andere, verhältnismäßig großflächige Sensorelementteile oder Sensorelemente vorgesehen werden. Dadurch läßt sich nämlich gewährleisten, daß bei abgeknickter Stromführungsrichtung (vgl. Figur 4) der Strom in die Richtung der einzelnen Streifenleiter und nicht in eine dazu schräg verlaufende Richtung

gezwungen wird. Die Magnetisierungsrichtung ist dann entsprechend exakt festzulegen.

Patentansprüche

1. Sensoreinrichtung zur Erfassung der Richtung eines äußeren Magnetfeldes mittels wenigstens eines Sensorelementes, das ein einen sehr großen magnetoresistiven Effekt (GMR) zeigendes Mehrschichtensystem aufweist, welches

- mindestens eine weichmagnetische Meßschicht;
- mindestens eine vergleichsweise härtere Bias-
schicht mit vorgegebener Magnetisierungsrich-
tung
- und
- mindestens eine dazwischen angeordnete, nicht-magnetische Zwischenschicht
enthalt, dadurch gekennzeichnet, daß das wenigstens ein Sensorelement (E, E') mindestens zwei Elementteile (E_j, E₁ bis E₄, E₁' bis E₄') enthält,
- deren Mehrschichtensysteme (S) auf einem gemeinsamen Substrat (2) ausgebildet sind,
- deren Magnetisierungsrichtungen (m₁ bis m₄) einen Winkel (α) ungleich 0° oder ungleich 180° einschließen
und
- deren Meßsignale ($\Delta R_1, \Delta R_2$) gemeinsam auszuwerten sind.

2. Sensoreinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelementteile getrennt untereinander mit einer gemeinsamen 35 Signalauswertungsvorrichtung verbunden sind.

3. Sensoreinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch einen von den Richtungen der Magnetisierungen (m₁ bis m₄) zweier Sensor-
elementteile eines Sensorelementes eingeschlos-
senen Winkel (α) zwischen 20° und 160° oder zwischen 200° und 340°.

4. Sensoreinrichtung nach Anspruch 3, gekenn-
zeichnet durch einen von den Richtungen der Magnetisierungen (m₁ bis m₄) eingeschlossenen
Winkel (α) von zumindest annähernd ($n \cdot 45^\circ$) $\pm 10^\circ$
mit $n = 1, 2, 3, 5, 6$ oder 7.

5. Sensoreinrichtung nach Anspruch 4, gekenn-
zeichnet durch einen von den Magnetisierungs-
richtungen (m₁, m₂) eingeschlossenen Winkel (α)
von zumindest annähernd 90° oder 270°.

6. Sensoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch Sensorelementteile (E_j) mit gleichem Schichtaufbau und gleicher Geome-

trie.

7. Sensoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßschichten (7) und/oder die Biaschichten jedes Sensor-
elementteils (E_j) aus einem Schichtpaket aus mehreren Schichten gebildet sind.

8. Sensoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß jedem Mehr-
schichtensystem (S) eines Sensorelementteils (E_j) wenigstens eine Leiterbahn (10a) zur Führung
eines Einstellstromes (I_a) zur festen Einstellung der Magnetisierung in der mindestens einen Bias-
schicht des Mehrschichtensystems zugeordnet ist.

9. Sensoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere elek-
trisch parallelgeschaltete Leiterbahnen (10a) eine 20 Streifenleiteranordnung (10, 10') bilden.

25

30

35

40

45

50

55

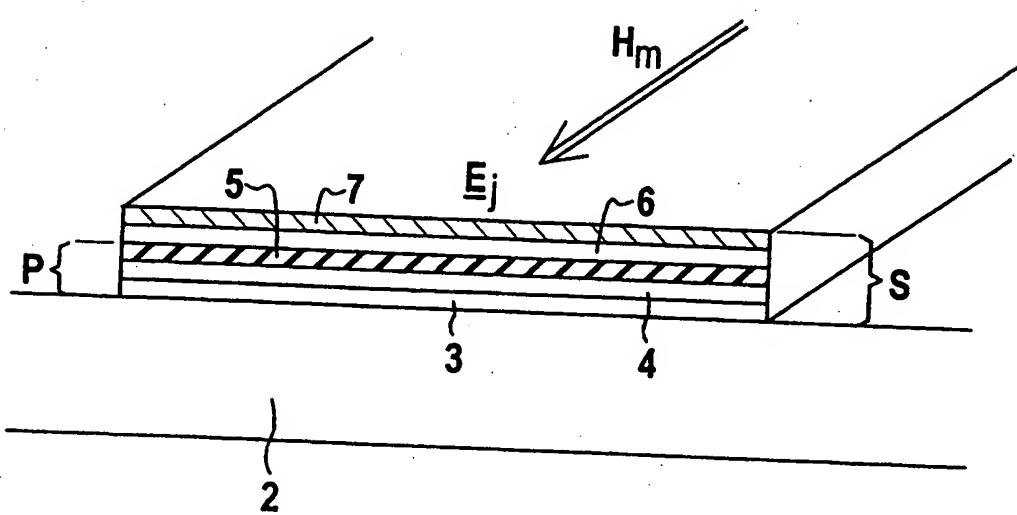


FIG 1

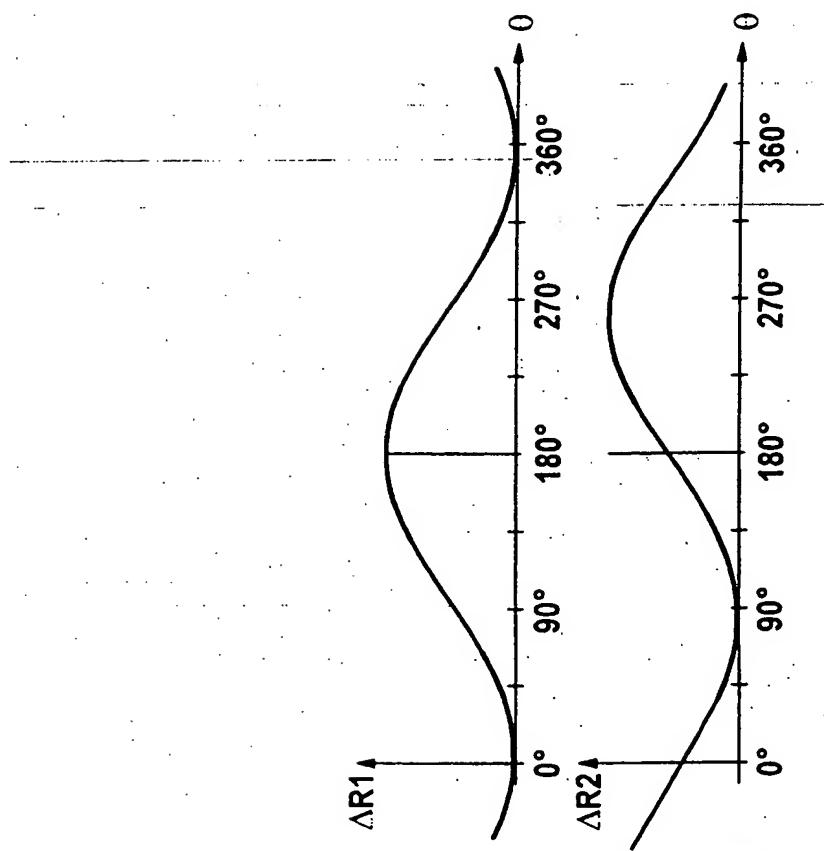
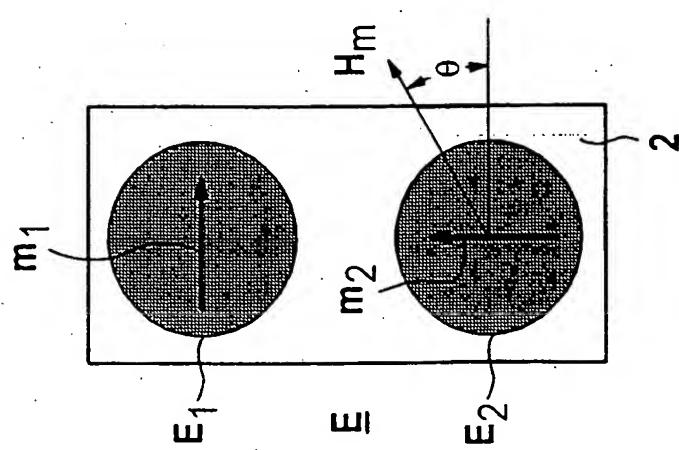


FIG2



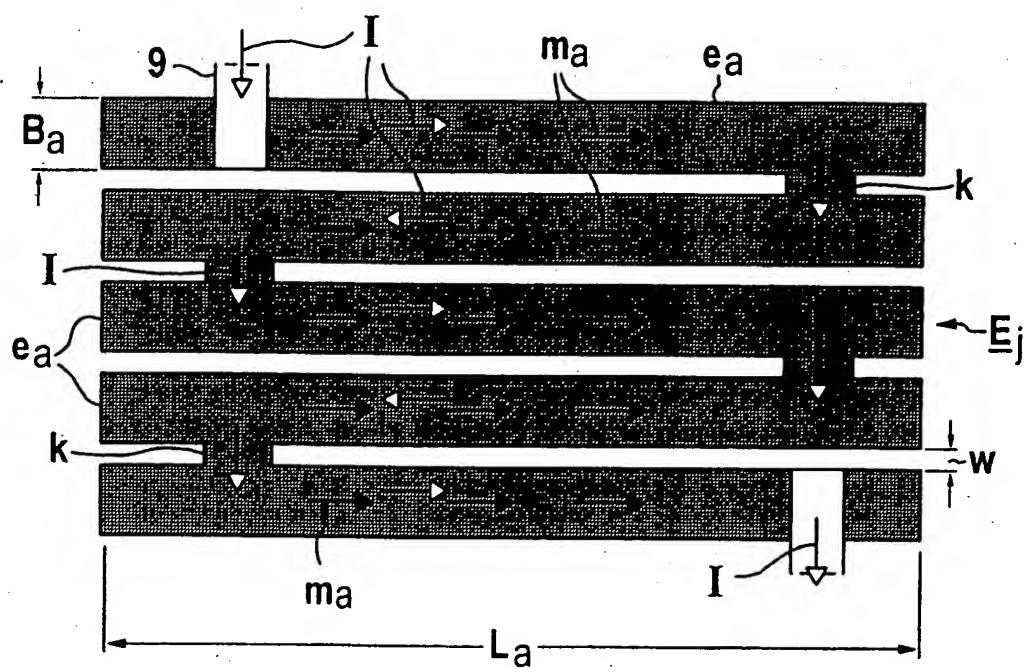


FIG 3

